



#2
P
2-23-02
W

**Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung**

Aktenzeichen: 101 02 523.8

Anmeldetag: 20. Januar 2001

Anmelder/Inhaber: Jungheinrich Aktiengesellschaft, Hamburg/DE

Bezeichnung: Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an
mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs

IPC: B 60 K, B 60 T

**Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ur-
sprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.**

München, den 14. Dezember 2001
Deutsches Patent- und Markenamt
Der Präsident
Im Auftrag

Ebert

PATENTANWÄLTE
DR.-ING. H. NEGENDANK (-1973)
HAUCK, GRAALFS, WEHNERT, DÖRING, SIEMONS
HAMBURG - MÜNCHEN - DÜSSELDORF

PATENT - U. RECHTSANW. · POSTFACH 30 24 30 · 20308 HAMBURG

K-43 707-19

Jungheinrich AG
Friedrich-Ebert-Damm 129

22047 Hamburg

EDO GRAALFS, Dipl.-Ing.
NORBERT SIEMONS, Dr.-Ing.
PETER SCHILDBERG, Dr., Dipl.-Phys.
HEIDI REICHERT, Rechtsanwältin
Neuer Wall 41, 20354 Hamburg
Postfach 30 24 30, 20308 Hamburg
Telefon (040) 36 67 55, Fax (040) 36 40 39
E-mail hamburg@negendank-patent.de

HANS HAUCK, Dipl.-Ing. (†)
WERNER WEHNERT, Dipl.-Ing.
Mozartstraße 23, 80336 München
Telefon (089) 53 92 36, Fax (089) 53 12 39
E-mail munich@negendank-patent.de

WOLFGANG DÖRING, Dr.-Ing.
Mörkestraße 18, 40474 Düsseldorf
Telefon (0211) 45 07 85, Fax (0211) 454 32 83
E-mail duesseldorf@negendank-patent.de

ZUSTELLUNGSANSCHRIFT/ PLEASE REPLY TO:

HAMBURG, 19. Januar 2001

Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an
mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs

Die Erfindung bezieht sich auf ein Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs zu Antriebs- und/oder Bremszwecken nach dem Patentanspruch 1.

Bei rutschigen Bodenverhältnissen oder ungünstiger Lastverteilung tritt bei Flurförderzeugen häufig das Problem auf, dass das Antriebsrad oder die Antriebsräder durchrutschen. Da das angetriebene Rad häufig auch das zu lenkende Rad ist, führt ein Durchrutschen außerdem zu schlechten Manövriereigenschaften. Zusätzlich bedingt das Durchrutschen einen erhöhten Verschleiß an Reifen bzw. Bandagen. Der Wirkungsgrad des Antriebs verschlechtert sich drastisch, da die Antriebsleistung nicht

.../2

in Bewegungsenergie umgesetzt wird. Entsprechend ist auch die Rückgewinnung der Bewegungsenergie beim Abbremsen reduziert. Wird über den Antrieb abgebremst, führt ein erhöhter Schlupf naturgemäß zu einem deutlich reduzierten Bremsmoment.

Aus der Automobilindustrie ist allgemein die Verwendung von sogenannten Anti-blockiersystemen bekannt geworden. Durch Ermittlung des Schlupfes beim Bremsen wird durch entsprechende Beaufschlagung des Bremssystems dafür gesorgt, dass der Schlupf nicht zu grosse Werte annimmt, um insbesondere ein Blockieren zu vermeiden.

Für Flurförderzeuge ist zwar bekannt, mechanische Bremsen einzusetzen, die auf die Antriebsräder wirken, bei elektromotorisch oder auch hydraulisch angetriebenen Flurförderzeugen wird häufig über den Antrieb abgebremst.

Daher liegt der Erfindung die Aufgabe zu Grunde, ein Verfahren anzugeben, mit dem das Drehmoment am Antriebsrad eines Flurförderzeugs zu Antriebs- und Bremszwecken schlupfabhängig beeinflusst wird.

Diese Aufgabe wird durch die Merkmale des Patentanspruchs 1 gelöst.

Bei dem erfindungsgemäßen Verfahren wird von einem Flurförderzeug ausgegangen, bei dem das Sollmoment für den Antrieb durch einen Vergleich von Antriebsdrehzahl

und einem Sollwertgeber stattfindet. Dies geschieht häufig dadurch, dass der Fahrzeugführer den Fahrschalter oder ein Pedal betätigt, wodurch abhängig von seiner Auslenkung und dem jeweiligen Betriebszustand ein Sollmoment für den Antrieb vorgegeben wird, beispielsweise über einen Drehzahlregler, über den derartige Fahrzeuge üblicherweise verfügen. Erfindungsgemäß wird der Absolutwert dieses Sollmoments um ein schlupfabhängiges Korrekturmoment verringert. Es versteht sich, dass das Antriebsmoment verschiedene Vorzeichen haben kann, je nachdem ob das Fahrzeug sich im Antriebs- oder Bremszustand bei Vorwärts- oder Rückwärtsfahrt befindet (Vier-Quadrantenbetrieb). Das Korrekturmoment ergibt sich aus dem jeweils vorliegenden Schlupf und wird im Ausgang eines Schlupfreglers erzeugt. Auf den Eingang des Schlupfreglers wird eine Differenz aus einem Sollwert für den Schlupf und einem Schlupf-Ist-Wert gegeben. Der Schlupf-Ist-Wert ist naturgemäß die Differenz zwischen der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Umfangsgeschwindigkeit des Antriebsrades. Je größer der Schlupf, um so größer das Korrekturmoment, so dass in jedem Falle gesichert ist, dass das jeweils optimale Moment am Antriebsrad bzw. am gebremsten Rad angreift.

Das erfindungsgemäße Verfahren arbeitet sicher und unabhängig von den verschiedenen Betriebszuständen. Es bedingt jedoch die Vorgabe eines Soll-Schlupfes. Wird das Reibverhalten eines Rades abhängig vom Schlupf untersucht, ergibt sich, dass abhängig von der Reibpaarung ein optimaler Schlupf vorliegt, der die günstigsten Reibverhältnisse zum Untergrund erzielt. Der Soll-Schlupf wird daher nach Möglich-

keit ein Wert sein, der dem optimalen Schlupf entspricht, kann jedoch auch von dem optimalen Schlupf mehr oder weniger stark abweichen. Wesentlich ist jedoch, dass der Soll-Schlupf nicht signifikant überschritten wird. Ist dies jedoch der Fall, kommt der Schlupfregler zum Einsatz und bewirkt die Reduzierung des Motormoments.

Solange der kritische Schlupf noch nicht erreicht wird, kommt der Schlupfregler nicht zum Einsatz.

Das erfindungsgemäße Verfahren wird vorzugsweise auf ein Flurförderzeug angewendet, dessen Antrieb von einem Elektromotor oder einem Verbrennungsmotor mit hydrostatischem Getriebe gebildet wird, wobei im Falle eines Elektromotors vorzugsweise ein Drehstrommotor vorgesehen ist.

Mit einer weiteren Ausgestaltung der Erfindung erfolgt die Anwendung des erfindungsgemäßen Verfahrens vorzugsweise bei einem Drehzahlregler, der das Sollmoment für den Antriebsmotor erzeugt.

In einer anderen Ausgestaltung der Erfindung wird die Fahrzeuggeschwindigkeit des Flurförderzeugs aus der Drehzahl eines nicht angetriebenen Rades des Flurförderzeugs bestimmt. Es sind jedoch auch andere Geschwindigkeitsmessmethoden möglich. So kann zum Beispiel ein Beschleunigungssensor vorgesehen werden, wobei dann die gemessenen Fahrzeugbeschleunigung zur aktuellen Fahrzeuggeschwindigkeit

integriert werden muss. Denkbar sind ferner auch Sensoren, die die Fahrzeuggeschwindigkeit direkt zur Umgebung, beispielsweise zum Boden, messen, zum Beispiel Radarsensoren, Mikrowellensensoren, optischen oder bildverarbeitende Sensoren usw..

Durch die oben beschriebene Bestimmung der Antriebsdrehzahl kann der Schlupf bei Geradeausfahrt zu jeder Zeit bestimmt werden. Soll der Schlupf auch bei Kurvenfahrt bestimmt werden, ist es erforderlich, entweder den aktuellen Lenkwinkel in die Berechnung mit einzubeziehen oder aber mindestens an zwei Stellen des Fahrzeugs eine Geschwindigkeitsmessung durchzuführen, um so den Geschwindigkeitsvektor am Antriebsrad oder den Antriebsrädern zu bestimmen. In einer Ausgestaltung der Erfindung wird aus der Drehzahl der nicht angetriebenen Räder, dem Lenkwinkel des Antriebsrades, dem Abstand der nicht angetriebenen Räder und dem Abstand zwischen der Achse der nicht angetriebenen Räder und dem Antriebsrad die Referenzgeschwindigkeit ermittelt und aus dieser die Umfangskomponente des angetriebenen Rades, um den Schlupf am Antriebsrad zu bestimmen.

Der Soll-Schlupf kann für eine bestimmte Beschaffenheit des Antriebsrades vorgegeben bzw. ermittelt werden. Es ist aber auch denkbar, den Soll-Schlupf je nach Umgebungsbedingungen zu variieren. Dies geschieht vorzugsweise modellbasiert durch Ermittlung bestimmter Parameter während des Fahrbetriebs.

Wird bei gelenkten Antriebsrädern die Referenzgeschwindigkeit ermittelt, die für ein seitliches Wegdriften des Fahrzeugs ursächlich ist, kann durch Erfassung des axialen Schlupfes dafür gesorgt werden, dass der Lenkwinkel nicht weiter erhöht wird oder auch reduziert wird, um den seitlichen Schlupf nicht über ein vorgegebenes Maß ansteigen zu lassen. Hierfür ist allerdings eine Lenksteuerung erforderlich.

Die Erfindung wird nachfolgend anhand eines in Zeichnungen dargestellten Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 zeigt die Anordnung der Räder eines dreirädrigen Flurförderzeugs mit Mitteln zur Durchführung des erfindungsgemäßen Verfahrens.

Fig. 2 zeigt ein Diagramm für das Reibverhalten als Funktion des Schlupfes.

Fig. 3 zeigt eine herkömmliche Antriebsregelung für ein Flurförderzeug.

Fig. 4 zeigt eine Regelvorrichtung zur Regelung des Schlupfes für die Antriebsregelung nach Fig. 3.

In Fig. 1 ist die Radanordnung eines dreirädrigen Flurförderzeugs wiedergegeben. Man erkennt zwei Räder 10, 12 auf einer gemeinsamen Achse, die nicht angetrieben sind. Ferner ist ein gelenktes Rad 14 zu erkennen, das gleichzeitig Antriebs- bzw.

gebremstes Rad darstellt. Den Rädern 10, 12 sind Sensoren 16, 18 zugeordnet, welche die Drehzahl der Räder bzw. ihre Umfangsgeschwindigkeit messen. Diese Geschwindigkeit ist mit V_r bzw. V_l angegeben. Der Radstand zwischen den Rädern 10, 12 ist mit x angegeben. Der Abstand zwischen der Lenkachse des angetriebenen Rades 14 und der Achse ist mit y angegeben. Der Radius zwischen der Achse des gelenkten Rades 14 und dem Momentanpol M ist mit R_A bezeichnet, wobei der Abstand zwischen dem Rad 10 und dem Momentanpol mit R_R und zwischen dem Rad 12 und dem Momentanpol mit R_L angegeben ist. Die Fahrzeugwinkelgeschwindigkeit ist mit ω_F bezeichnet.

Die Verhältnisse für den Schlupf des Rades 14 sind allgemein durch folgende Formel gekennzeichnet:

$$s = f(\omega_a \cdot r_a, \bar{V}_{ref}) = \omega_a \cdot r_a - V_{ref,u}$$

Für den Fall nach Fig. 1 gelten folgende Beziehungen:

$$\begin{aligned} |\bar{V}_{ref}| &= \omega_F \cdot R_A \\ \bar{V}_{ref} &= \begin{pmatrix} y/x (v_r - v_l) \\ 1/2 (v_r + v_l) \end{pmatrix} \\ v_{ref,u} &= y/x (v_r - v_l) \cdot \sin(\alpha) \\ &\quad + 1/2 (v_r + v_l) \cdot \cos(\alpha) \\ v_{ref,a} &= y/x (v_l - v_r) \cdot \cos(\alpha) \\ &\quad + 1/2 (v_r + v_l) \cdot \sin(\alpha) \end{aligned}$$

In diesen Beziehungen sind

| | |
|-----------------|---------------------------------------|
| M | Momentanpol |
| V_L | Geschw. Linkes Lastrad |
| V_R | Geschw. Rechtes Lastrad |
| \bar{V}_{ref} | Referenzgeschw. Antrieb |
| ω_F | Fahrzeugwinkelgeschw. |
| R | Abstände zu M |
| x | Achsstand |
| y | Radstand |
| α | Lenkwinkel |
| $V_{ref,u}$ | Umfangskomponente von \bar{V}_{ref} |
| $V_{ref,a}$ | Axialkomponente von \bar{V}_{ref} |

durch die so bestimmte Referenzgeschwindigkeit des Fahrzeugs am Antriebsrad kann durch Vergleich mit der Drehzahl des Antriebsrades (entsprechend der Formel $s = \omega_A \cdot r_A - V_{ref}$) der Schlupf bestimmt werden. Werden positive Drehmomente erzeugt (in Vorwärtsrichtung) wie beim Antreiben vorwärts oder Bremsen rückwärts, stellt sich ein positiver Schlupf ein. Werden dagegen Drehmomente in Rückwärtsrichtung erzeugt (Bremsen bei Vorwärtsfahrt und Antreiben bei Rückwärtsfahrt), stellt sich ein negativer Schlupf ein.

Der Schlupf bzw. das Reibverhalten des angetriebenen Rades 14 hängt von seiner Bereifung und dem Untergrund ab (Reibpaarung). Wie sich aus Fig. 2 ergibt, gibt es einen optimalen Schlupf, bei dem die Reibung maximal ist. Während des Antreibens bzw. des Abbremsens des Rades 14 darf dieser Schlupfwert_{s0} nicht überschritten werden, wenn die günstigsten Beschleunigungswerte für das Fahrzeug erzielt werden sollen bzw. ein instabiler Bereich und damit ein Durchrutschen vermieden werden soll.

In Fig. 3 ist eine herkömmliche Antriebsregelung für ein Flurförderzeug, beispielsweise für das Rad 14, angedeutet. Über z. B. ein „Gaspedal“ 20 wird ein Drehzahl-sollwert n_{soll} vorgegeben, der in einem Drehzahl-sollwert-Istwert-Vergleich 22 mit dem Istwert der Drehzahl verglichen wird. Die Istdrehzahl n_{ist} wird in herkömmlicher Weise ermittelt. Die Regelabweichung gelangt auf einen Drehzahlregler 24, der einen Sollwert für das Antriebsmoment $M_{soll,n}$ vorgibt. Das Sollmoment wird auf einen Soll-Ist-Wert-Vergleich 26 gegeben, dessen Ausgang auf einen Momentenregler 28 geht. Der Momentenregler 28 erzeugt einen Stellwert für den Antrieb 30 des Flurförderzeugs, beispielsweise einen Drehstrommotor im elektrischen oder auch einer Druckquelle (Verstellpumpe) im hydrostatischen Antriebsstrang. Block 30 beschreibt das Übertragungsverhalten des Antriebs. Block 32 gibt das Fahrzeug wieder, dessen Geschwindigkeit nicht immer proportional ist zur Drehzahl des Motors 30, da selbst bei Geradeausfahrt ein Schlupf vorhanden ist und vor allem bei Kurvenfahrt die Drehzahl nicht proportional ist der Geschwindigkeit des Fahrzeugs. Der Momenten-Ist-

Wert M_{ist} des Antriebs 30 wird auf den Soll-Ist-Wert-Vergleich 26 rückgeführt. Bei einem elektrischen Antrieb wird als momentenbeschreibende Größe der momentenbildende Strom zurückgeführt. Bei einem hydrostatischen Antrieb ist der Druck im Antriebszweig entsprechend zurückzuführen.

Im Block 34 findet bei einer erfindungsgemäßen Antriebsregelung die Reduzierung der Drehmomente am Antrieb statt, was in Fig. 4 näher dargestellt ist.

Wie aus Fig. 4 ersichtlich, wird das Motormoment des Antriebs durch den Schlupf beeinflusst. Dies geschieht gemäß Fig. 3 im Block 34, dessen Einzelheiten aus Fig. 4 näher hervorgehen.

Der Ausgang des Drehzahlreglers $M_{soll,n}$, wie bei 34a angedeutet, gelangt über einen Block 36 auf ein Summierglied 38. Der Block 36 hat lediglich die Aufgabe, den Absolutwert des Momentensollwerts zu bilden, der bekanntlich positiv oder negativ sein kann, je nachdem, in welchem Quadranten der Antrieb 14 betrieben wird. Ein Schlupf-Ist-Wert am Eingang 40 wird in einem Multiplikationsglied 42, mit dem Vorzeichen des vom Drehzahlregler verlangten Sollmoments multipliziert. Die Vorzeichenermittlung des Sollmoments $M_{soll,n}$ erfolgt in Block 44. Der Schlupf-Ist-Wert wird auf obige Weise ermittelt, d. h. es wird festgestellt, wie gross die Differenz ist zwischen der Fahrzeuggeschwindigkeit und der Umfangsgeschwindigkeit des angetriebenen Rades 14. Der gemessenen Schlupf erhält das jeweilig Vorzeichen des

Moments vom Drehzahlregler 24. In einem Summierglied 45 wird er mit einem vorgegebenen Schlupfwert S_0 verglichen, der z. B. dem optimalen Sollwert entspricht. Der Differenzbetrag gelangt auf einen Schlupfregler 46, dessen Ausgang auf das Summierglied 38 gegeben wird. Im Block 48, auf den der Ausgang des Schlupfreglers 46 zunächst gegeben wird, wird dafür gesorgt, dass nur dann eine Weitergabe des „Korrekturmoments“ auf das Summierglied 38 erfolgt, wenn der gemessene Schlupf größer ist als der vorgegebene Schlupf S_0 . Der Differenzbetrag wird dann bekanntlich negativ. Es wird daher nur ein negatives Korrekturmoment auf das Summierglied 38 geschaltet, damit das Moment des Motors 30 entsprechend reduziert wird, um die Antriebskraft am Rad 14 bzw. die Bremskraft zu reduzieren.

Um die vorangegangene Absolutwertbildung in Block 36 nach dem Korrekturingriff des Schlupfreglers 46 wieder rückgängig zu machen und den Momentensollwert M_{soll} vorzeichenrichtig auf den Antrieb wirken zu lassen, wird das in Block 44 bestimmte Vorzeichen wieder aufmultipliziert und am Ausgang 52 bereitgestellt.

Mit dem oben beschriebenen Verfahren kann der Schlupf bei Geradeausfahrt zu jeder Zeit bestimmt werden. Bei der Kurvenfahrt ist an zwei Stellen des Fahrzeugs (Räder 10, 12) die Geschwindigkeit gemessen worden, um den Geschwindigkeitsvektor \bar{V}_{ref} (Referenzgeschwindigkeit) am Antrieb 14 bestimmen zu können. Die Bestimmung der Referenzgeschwindigkeit ist weiter oben bereits beschrieben. Aus der Referenzgeschwindigkeit bzw. ihrem Vektor lassen sich die Umfangs- und die axiale Kom-

ponente errechnen. Die Umfangskomponente ist die Geschwindigkeit, welche für die Bestimmung des Ist-Schlupfes herangezogen wird. Die axiale Komponente gibt das Ausmass des seitlichen Rutschens des Rades 14 wieder, das nach Möglichkeit ebenfalls einen bestimmten Wert nicht überschreiten soll. Hier kann z. B. vorgesehen werden, dass in die Lenkung eingegriffen wird derart, dass vermieden wird, dass der Lenkwinkel α nicht noch größer wird. Es ist auch möglich, den Lenkwinkel etwas zu reduzieren oder andere Massnahmen zu ergreifen, welche zur Reduzierung des seitlichen Schlupfes führen.

Ansprüche

1. Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs zu Antriebs- und/oder Bremszwecken, bei dem das Drehmoment eines Antriebsmotors (30) für das Flurförderzeug mit Hilfe eines Schlupfreglers (46) betragsmäßig, schlupfabhängig verringert wird, indem der Schlupf zwischen Antriebsrad (14) und Boden durch Vergleich von gemessener oder errechneter Umfangsgeschwindigkeit des Antriebsrades (14) und gemessener Fahrzeuggeschwindigkeit des Flurförderzeugs bestimmt und mit einem Sollwert verglichen wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Antriebsmotor (30) ein Elektromotor oder ein hydraulischer Motor ist.
3. Verfahren nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, dass ein Drehstrommotor vorgesehen ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass der Eingriff des Schlupfreglers (46) hinter einem Drehzahlregler (24) stattfindet, der ein Solldrehmoment als Ausgang besitzt und dessen Ausgang nach Korrektur durch den Schlupfregler einem unterlagerten Momentenregelkreis zugeführt wird.

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass die Fahrzeuggeschwindigkeit aus der Drehzahl mindestens eines nicht angetriebenen Rades (10, 12) des Flurförderzeugs bestimmt wird.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 5, dadurch gekennzeichnet, dass bei zwei nicht angetriebenen Rädern (10, 12) die Drehzahl gemessen wird, um die Referenzgeschwindigkeit am Antriebsrad (14) aus der Fahrzeuggeometrie vektoriell (Richtung und Größe) bestimmen zu können.
7. Verfahren nach Anspruch 6, dadurch gekennzeichnet, dass durch Messung des Lenkwinkels am gelenkten Antriebsrad (14) eine Berechnung der Umfangskomponente und/oder der Axialkomponente der Referenzgeschwindigkeit stattfindet.
8. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 7, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Schlupf für eine bestimmte Reibpaarung von einem optimalen Schlupfwert gebildet wird.
9. Verfahren nach Anspruch 8, dadurch gekennzeichnet, dass der Soll-Schlupf während des Betriebes des Flurförderzeugs ermittelt wird.

10. Verfahren nach Anspruch 6 oder 7, dadurch gekennzeichnet, dass aus der Referenzgeschwindigkeit des gelenkten Antriebsrades (14) die axiale Geschwindigkeitskomponente ermittelt wird und der Lenkwinkel begrenzt bzw. reduziert wird, wenn die axiale Geschwindigkeitskomponente einen vorgegebenen Wert übersteigt.

Zusammenfassung

Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an
mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs

Verfahren zur Beeinflussung des Drehmoments an mindestens einem Antriebsrad eines Flurförderzeugs zu Antriebs- und/oder Bremszwecken, bei dem das Drehmoment eines Antriebsmotors für das Flurförderzeug mit Hilfe eines Schlupfreglers betragsmäßig, schlupfabhängig verringert wird, indem der Schlupf zwischen Antriebsrad und Boden durch Vergleich von gemessener oder errechneter Umfangsgeschwindigkeit des Antriebsrades und gemessener Fahrzeuggeschwindigkeit des Flurförderzeugs bestimmt und mit einem Sollwert verglichen wird.

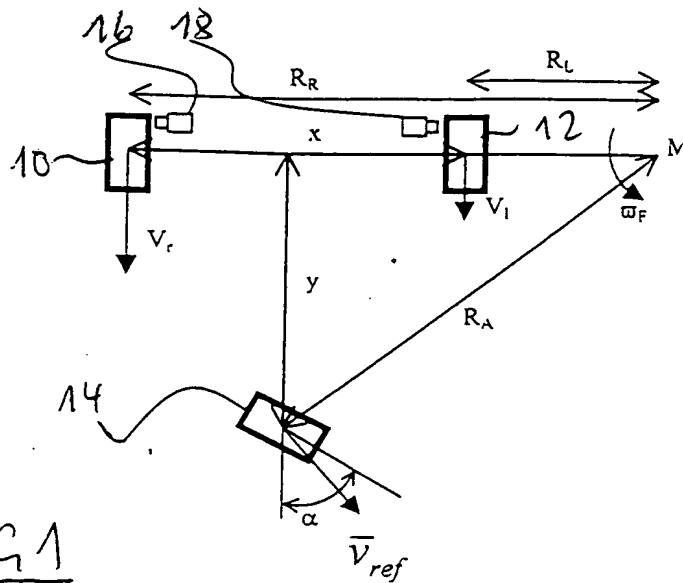


FIG1

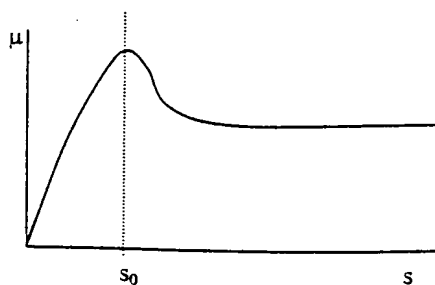


FIG2

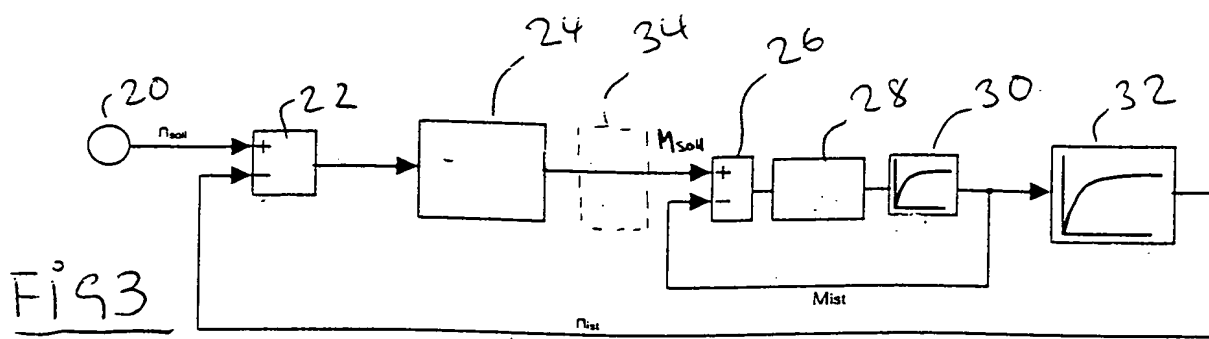


FIG3

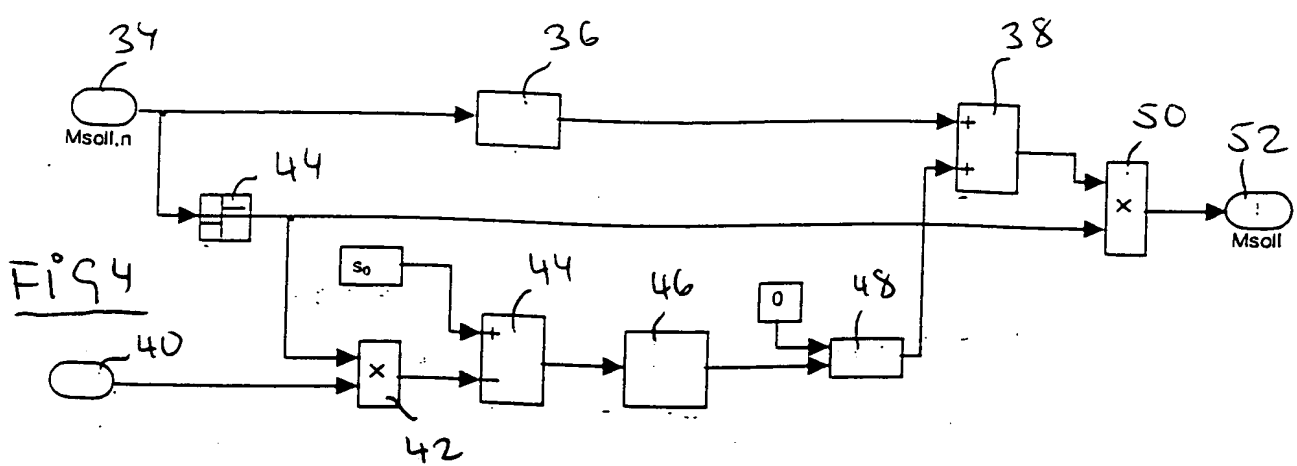


FIG4